動態浮根式葉菜水耕栽培系統之評估[†]

高德錚*

Evaluation on the DRF Hydroponic Vegetable Culture System[†]

Te-Chen Kao*

摘　要

本研究旨在探討台中區農業改良場所開發之各型水耕系統之優劣，藉此開發一套適合於生產本省夏季蔬菜之栽培技術。由評估結果顯示，各型之栽培成效以民國七十五年底開發完成之動態浮根式（DRF）系統最優，茲將各項結果摘錄如下：

1. DRF系統之栽培床採保利龍成型，最具保溫隔熱效果。在夏季氣溫為27.1°C～35.2°C時，液溫可維持在21.2°C～27.2°C。
2. DRF系統栽培床內加舖之黑色PE布除具防漏效果外，可比其他顏色較能防止著生藻類。
3. DRF系統因有空氣混入器，養液昇降排液器及養液迴流曝氣裝置，且具有隨植物生育期別將養液流速調整在3～4.5升／分、公尺之裝置，導致其溶氧量比其他各型多41.8％～13.9％。
4. DRF系統之養液在每次灌排過程中使水位維持在8～4公分，導致上位根部產生根毛群。因之，其根部活性為其他各型之2.47～1.36倍。
5. DRF系統栽種之小白菜年間之產量每1000m^2／作，為3.22～3.80公噸，而從移植日至8葉齡之經濟生育日數為12.0～18.5日，與其他各型相比DRF系統較不受季節性氣象因子干擾。
6. 水耕之小白菜與經相同養液配方栽培之土耕者之間蛋白質、脂肪、葉綠素、維生素A與C等含量大致相同，但澱粉含量以水耕之9.41％優於土耕的7.80％，而纖維含量則反以土耕者之0.49％較水耕者之0.24％為高。就NO_3—N及NO_2—N含量而言，則仍以水耕者最低，分別為136.4ppm及0.24ppm，僅土耕之32.1％及28.6％。

---

† 台中區農業改良場研究報告第0120號，本研究承行政院農業委員會，輔助部分經費（75農建-8.1糧-125及76農建-8.1-糧-94(1)特表申謝。

Contribution No. 0120 from Taichung District Agricultural Improvement Station and supported by the grants of the Council of Agriculture, Executive Yuan.

* 台中區農業改良場副研究員

Associate Agronomist of Taichung District Agricultural Improvement Station.

一、前　言

民國七十三年三月在日本筑波萬國博覽會上展示著一株巨無霸之水耕番茄樹，她預計在一年中結12000個番茄[4]。此科技震驚了世界，使世人深以爲利用水耕栽培技術係解決未來糧食飢荒之途徑。其實水耕栽培技術之應用於商業性生產已有多年的栽培史。以日本爲例[9]，源至民國34年美軍進駐日本後，在東京調布及滋賀縣大津首先構築22公頃之礫耕蔬菜工廠，其生產番茄、小黃瓜及萵苣等生食蔬菜，用來供給日本境內美軍之食用；甚至韓戰時亦空運至韓國供給當地駐軍。至去年底[12]，日本全國水耕栽培面積約有300公頃，佔全國設施園藝栽培面積之1%弱，但生產量則佔8～9%。日本水耕栽培作物中以番茄、小黃瓜及其他果菜類之佔60%爲最，其次爲鴨兒芹及細葱之佔32%，茶、花卉及果樹等尙在增加中。在歐美方面從1950年代開始意大利、法國、英國、德國、瑞士、美國、蘇俄、以色列及荷蘭等各國，相繼開發各類型之水耕栽培[2][19]。以荷蘭爲例[6][13]，在1975年全國水耕面積僅5公頃，但至1986年已達2,000公頃。此歸功於1966年Cooper發明之NFT式水耕法[16][19]及1975年後岩綿栽培法之廣爲農民利用於番茄、小黃瓜、及花卉等之栽培[6][13]。歸納國外開發水耕栽培之目的，係因此套技術(1)無需特定土地(2)具工廠化週年生產性(3)可廻避土壤病蟲害及連作障礙(4)施肥合理化，蔬菜生產速率穩定、年產量高(5)蔬菜品質較高及(6)省勞力及輕勞動量[1][8][11]。

在國內水耕栽培之試驗研究起步較晚，在民國60年代有龍潭農校之屋頂礫耕葉菜栽培試驗及面積達0.135公頃之礫耕金針菜之農場。在70年代則有鳳山熱帶園藝試驗分所之各種作物之水耕試驗，高雄區農業改良場之砂耕番茄試驗及台鳳公司之香瓜、蔬菜水耕試驗。台中區農業改良場之蔬菜水耕研究起步最晚，如表一表示，從民國七十四年初，本場才開始小型水耕床之測試。至民國七十四年九月才完成葉菜Ⅰ型之栽培技術，由於效果不盡理想，因此繼續在栽培床資材、養液循環等方面進行改良，而有所謂Ⅱ、Ⅲ型之栽培技術之開發。

表一　台中區農業改良場水耕栽培發展經過
Table 1. Progressive survey of hydroponic culture in Taichung DAIS

項　目	日期 年(月)
小型水耕床測試	74 (2 － 5)
大型水耕床測試	74 (6 － 8)
開發葉菜Ⅰ型栽培技術	74 (9)
開發果菜Ⅰ型栽培技術	74 (11 － 12)
開發養液自動控制系統	75 (1 － 3)
開發果菜Ⅱ型栽培技術	75 (4 － 5)
開發果菜Ⅲ型立體栽培技術	75 (6)
開發保利龍栽培床	75 (6 － 7)
開發養液空氣混入器	75 (8)
開發葉菜Ⅲ型栽培技術	75 (10)
開發養液昇降排液器	75 (11)
完成動態浮根式水耕系統	75 (12)

在民國七十五年初，大衆傳播媒體刊登出本場開發水耕栽培成功後，民國七十五年三月首先係台糖公司設在埔里之副產加工廠及埤頭之元埔農場率先採用本場之葉菜Ⅱ型及Ⅲ型之栽培技術，生產一般葉菜類蔬菜。由於水耕蔬菜生長速率優於當時之土耕清潔蔬菜及品質優美，被台北之消費者搶購一空。至民國七十六年三月相繼有各地農民分別在台北外雙溪、苗栗西湖、台中頭汴坑、彰化永靖、鹽埔及桃園平鎮等地，沿用本場葉菜Ⅲ型及動態浮根式（Ⅳ型）之栽培技術，進行約1公頃之試作。根據台糖方面和各地農民試作之成果及消費者之反應，加速了本場工作同仁之研究腳步。尤其在包括育苗用海綿、營養液、保麗龍栽培床資材、空氣混入器及養液昇降排液器等設施資材本土化後，至民國七五年底本場已完成一套命名爲動態浮根式之水耕栽培技術。

所謂『動態浮根式水耕栽培系統』係基於植物栽種於本系統時，其根系在每次之灌排流程中，隨養液之昇降而上下左右波動，且一旦進液停止時，栽培床內養液面由8公分降至4公分，使上根部因露於空氣層中而增加根部活性，因之命名爲動態浮根式水耕栽培系統（Dynamic Root Floating System, DRF System）。本文擬就動態浮根式水耕栽培技術之架構及生產狀況一一詳述之。

二、水耕系統之比較

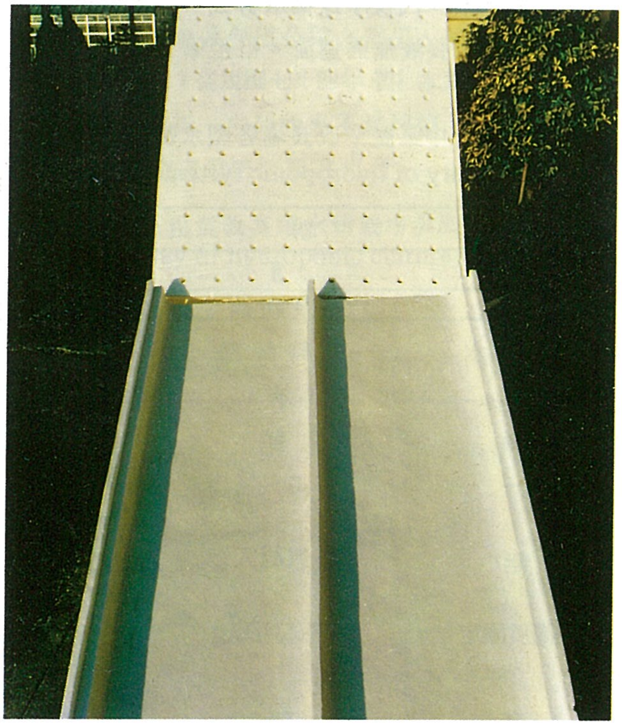
台中區農業改良場從民國七十四年九月開發出第Ⅰ型之水耕系統後，至七十五年底已展至第Ⅳ型，表二爲各型水耕系統內部結構之差別。栽培床資材至始即採保麗龍成型，其內緣長180公分、寬90公分、高8公分（如圖一）。除了第一代採浮球補水方式，在栽培床內水位降至一定程度時，利用落差使養液由高水塔中灌入，因此養液無需迴流。但至第Ⅱ型以後，給液方式均採用定時器來控

表二　台中區農業改良場各型水耕系統之特徵

Table 2. The specificity of hydroponic system series in Taichung DAIS

項目	水耕型式			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	DRF（Ⅳ）
栽培床資材	保利龍	保利龍	保利龍	保利龍
給液方式	浮球補水	定時循環	定時循環	定時循環
養液槽	有	有	有	有
養液之迴流	無	有	有	有
養液流速 公升／分，公尺	—	3.0～4.5	3.0～4.5	3.0～4.5
氧氣添加方式	無	空氣混入器	空氣混入器	空氣混入器及迴流曝氣裝置
排液方式	閘門高度固定	閘門高度固定	隨生育期更換閘門高度	養液昇降排液器
承網之添加	有	無	無	無
栽培床深度（公分）	8	8	8	8
空氣層（公分）	2	2	2～4	4
浮根方式	靜態	靜態	靜態	動態

制抽水馬達，使栽培床之與養液槽間的養液採定時交換，至於養液之流速則除Ⅰ型外，流速均依栽培床長度及馬達馬力使養液流速每分鐘維持在3.0～4.5公升／公尺。為了增加養液中之溶氧量，從Ⅱ型起養液灌入栽培床時，先經過空氣混入器（圖二），使空氣隨之混入養液中。且至DRF型時，又讓養液迴流入養液槽時，產生噴灑狀而發生『曝氣』現象。在排液方式之不同為Ⅰ、Ⅱ型採固定高度之閘門式，使栽培床內水位高度維持6公分，而上位根部維持2公分之空氣層，至Ⅲ型將閘門高度隨植株根系之長度從8公分逐漸降至4公分，而在DRF型更因裝設養液昇降排液器（圖三）使栽培床內之養液在每一次灌液至下灌液間，水位維持8～4公分間，所以植株根部可隨養液之左右流動及水位之上下波動而產生動態浮根現象。至於Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型則因水位固定根系浮動不顯，故稱為靜態浮根式。根據上述各型之差異，進一步由表三可發現以栽培小白菜為例，每1000 m^2 之收穫量，不論在7-15℃之低溫或16－27℃之適溫及28－37℃之高溫期均以DRF型之產量高，分別為3.22、3.80及3.52噸，而以Ⅰ型為最差，僅1.49-2.47噸。尤其在熱天高溫期時Ⅰ、Ⅱ型之產量最差，但在Ⅲ型及DRF高溫期反比低溫期產量分別高14.8％及9.3％。若以小白菜之幼苗自移植日起至8葉齡所需之生長日數稱之經濟採收期，則進一步由表四可知Ⅰ型至DRF型之差別為小白菜Ⅰ型至DRF型之平均生長日數從31.0日降至14.9日。換言之以DRF型受氣溫高低之影響最小。



圖一　DRF水耕系統專用之保利龍製栽培床

Fig. 1. Styrofoam-made culture bed of DRF system.

圖二　動態浮根式水耕栽培系統之空氣混入器
Fig. 2. Aspirator used in DRF system.

圖三　動態浮根式水耕栽培系統之養液自動昇降器
Fig. 3. Automatic water level adjuster in DRF system.

表三　台中區農業改良場各型水耕系統栽培小白菜之生產量（公噸／作，1000 m^2）
Table 3. The yield potential of Pai-tsai in hydroponic system series of Taichung DAIS

室溫（°C）	水耕型式			
	I	II	III	DRF
7～15	1.74	1.91	2.36	3.22
16～27	2.47	2.68	3.02	3.80
28～37	1.49	2.18	2.71	3.52

表四　台中區農業改良場各型水耕系統栽培小白菜之生育日數

Table 4. The growth period of Pai-tsai in hydroponic system series of Taichung DAIS

室　溫（ °C ）	水	耕	型	式
	I	II	III	DRF
7 ～ 15	34.4	27.5	24.0	18.5
16 ～ 27	31.1	21.3	18.6	14.1
28 ～ 37	27.7	16.2	14.0	12.0

※生育日數係指移植日至 8 葉齡所需之日數

三、溫室結構

本場採用煥坤企業股份有限公司開發之高隧道式網溫室（如圖四），骨架結構爲½″∅ 之鍍鋅鐵管，長度16公尺、寬度 6.8 公尺，中間作業點高度爲 3.6 公尺，屋頂先覆以 0.2mm 之 PVC 透明塑膠布，當氣溫超過30° C時，塑膠布上方再以40%黑色遮光網罩之。溫室之四週則以24目白色尼龍網圍之。根據本場之調查，此網溫室全年間之透光度、透風性、室溫等變化如表五所示，遮蔭前最大透光度爲大氣之 81.5 %，遮蔭後降至 45.6 %，透風性爲室外之 70.2 %，全年最高低室溫爲 39.1 °C 及 9.4 °C，室內外溫差在 +2 °C ～ 5 °C 間。換言之，冬季時室內比室外高 2 °C 左右，夏季時室內亦比室外高 5 °C。室內之二氧化碳濃度與室外略同，大致維持在 330 ～ 350 ppm，年度間室內相對濕度在41%～89%。與室外相比，氣溫超過 30 °C 時比室外低25～30%，而當下雨或夜間結露時，室內相對濕度比室外高17～24%。

圖四　動態浮根式水耕栽培系統之網溫室

Fig. 4. Appearance of pipe house used in DRF system.

四、栽培床資材

DRF水耕系統栽培床之材質採用保利龍（styrofoam）發泡成型，每一栽培床基本規格，內緣長180公分、高8公分，栽培床中間以一公分厚之保利龍間隔，劃分成兩條水路，每邊寬45公分。栽培床上方罩之以3片厚3公分，長90公分，寬60公分之保利龍承板，每一保利龍承板上方有50個等距之圓洞，圓洞之直徑爲2.5公分。此種保利龍栽培床之隔熱保溫效果如表六所示，當氣溫低至7°C時，栽培床內養液溫度爲10.7°C，而氣溫高至38.4°C時，液溫仍保持30.3℃。換言之，本場設計之栽培床可使液溫保持在10.1°C～30.3°C間。尤其在夏季日夜溫在27.1℃～35.2°C間時，液溫仍可保持21.2°C～27.2°C。根據高[15]之研究報告顯示，氣溫超過25°C，且液溫維持在30°C時，小白菜之生育僅液溫25°C處理之32.9%，又高[15]比較不同栽培床之資材，例如5″φ PVC管，2 mm厚橘色塑膠盆及5公分厚保利龍盆之隔熱保溫效果亦發現，當氣溫超過25°C時，僅保利龍盆具有使液溫低於氣溫之效果。據此，DRF栽培床之設計確能因應熱帶地區高溫而具降低栽培床內液溫之效果。又構築栽培床時係依地形之長短，而以基本栽培床連接之，爲避免漏水及著生藻類，栽培床內緣罩以0.2 mm之PE黑色塑膠布。根據表七之試驗結果顯示，不同塑膠布對栽培床內著生藻類之顯有不同，其中以黑色之防藻類著生的效果最佳，大約15.6日才有綠藻在黑色栽培床內著生，至22.5日時始將180×90×8公分之栽培床面佈滿綠藻。其次爲綠色、黃色及白色，白色塑膠布之效果最差，放置7天後即有綠藻著生。惟，不論那一種顏色，一旦有藻類著生後，大約7天即可佈滿全部栽培床面。因此，栽培床一但灌有水耕液時絕對不能露空，否則易生藻類。

表五　DRF水耕溫網室之特性

Table 5. The characteristics of pipe house used in DRF system

測試項目	規格
透光度（遮蔭後）	81.5%（45.6%）
透風性	70.2%
室溫	9.4～39.1°C
室內外溫差	+2～+5°C
CO_2 濃度	330～350 ppm
室內相對濕度	41%～89%
室內外相對濕度差	+20～−30%

表六　DRF水耕栽培床之保溫隔熱效果

Table 6. Variation of air/nutrient temperature in DRF system

氣溫（°C）	液溫（℃）
7.0	10.1
20.5	16.5
27.1	21.2
31.3	24.5
35.2	27.2
38.4	30.3

表七　舖設不同塑膠布對水耕床著生藻類之影響

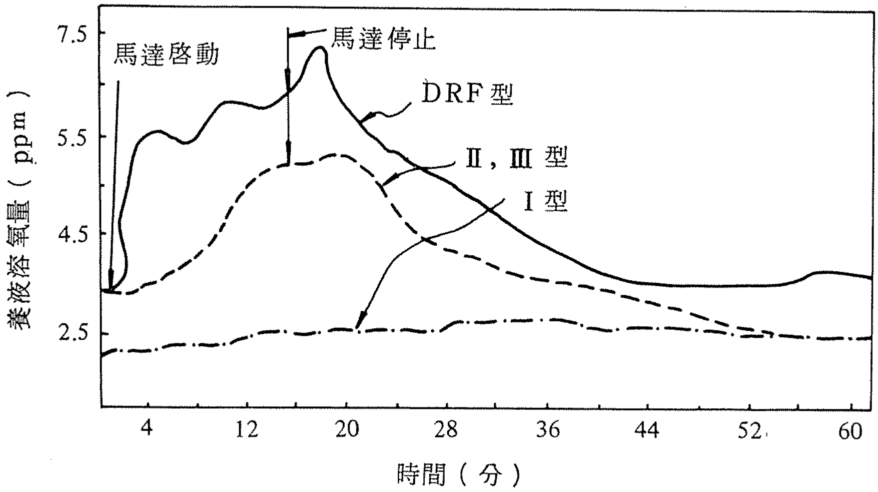
Table 7. Effect of different colors of PE film on the algae infection of hydroponic system

塑膠布顏色	著生始期(日)	佈滿時間(日)
黑　色	15.6	22.5
白　色	7.1	14.3
黃　色	12.5	17.4
綠　色	13.9	20.6

關於水耕床架高度之問題，在日本方面之設計係採用活動鐵架，依作物別而調整其高度及斜度，但本場現行DRF型水耕系統則採用空心磚或紅磚爲柱石。其上再以水泥板舖平，使地面至水泥板間之高度維持在60公分。而一旦上方再放置15公分厚之栽培床後，使栽培床面離地75公分。根據本場多年之經驗，75公分之高度對葉菜類之種植與採收作業最省力。至於水耕床是否需要有斜度，則依實際構築長度、單位時間灌水量及排液量而定。一般而言，15公尺內以水平爲宜，超過15公尺時水耕床仍以水平爲宜，而採用由栽培床雙頭灌液，中間排液效果最佳。

五、溶氧量

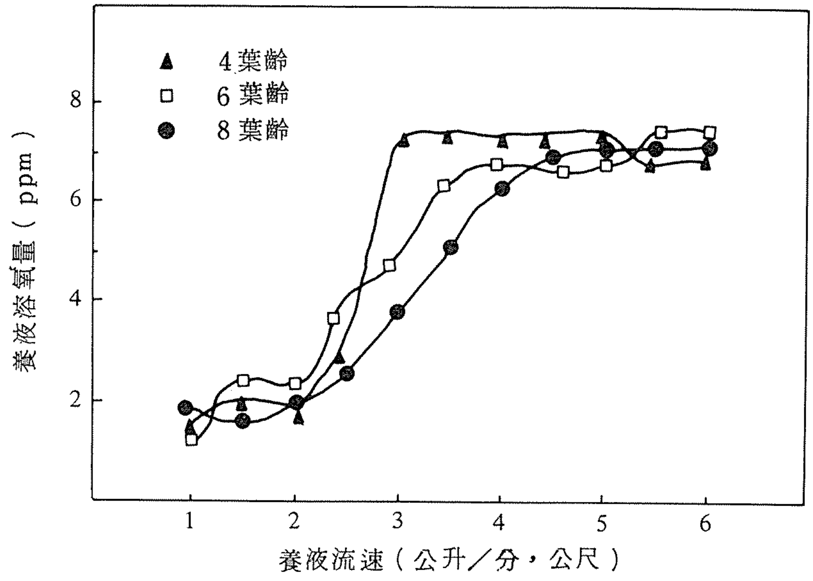
造成I型至DRF型間產量之差異，根據日本方面評估各種型式水耕系統試驗結果[1][3]，主要受養液配方及溶氧量之影響。茲就溶氧量之問題述明之：由圖五所示，I型之溶氧量在灌排間維持在2.3～2.7 ppm間，II、III型則從2.7～5.4 ppm，至DRF型時，溶氧量從3.5～7.4ppm。而養液溶氧量多寡係受(1)養液溫度(2)養液流速(3)植物種植密度及生育時期(4)空氣混入器(5)養液昇降排液器等五個因素之影響。由於各型之栽培床資材均採用保利龍，因之就如表六所示液溫並非限制因子，而係養液流速等其他四個因素所制。



圖五　台中區農業改良場各型水耕系統之溶氧量週期性之變化

Fig. 5. Fluctuation of dissolved oxygen concentration in different types of hydroponic system of Taichung DAIS.

圖六爲養液流速與溶氧量之關係，測定時種植作物爲 8 葉齡之小白菜，養液溫度爲 24.9 ℃，此時之飽和溶氧量爲 8.26 ppm；但當養液流速由每分之 1.0 公升／分，公尺，增至 6.0 公升／分，公尺時，養液之溶氧量可由 1.8 昇至 6.8 ppm，但流速從 4.5 公升／分，公尺起，此趨勢已至水平，反之當小白菜在 6 葉齡時，此時之液溫爲 24.7 °C 而飽和溶氧量爲 8.28 ppm，則養液流速昇至 4.0 公升／分，公尺時溶氧量即達 7.0 ppm 而趨緩和；至於 4 葉齡之小白菜則流量在 3.0 公升／分，公尺時溶氧量達 7.3 ppm 而趨水平。據此可知，若想由養液流速來調節溶氧量，則需視植株之生育狀況而加大流速，使養液不因根系發達而阻礙水流。因此，從 Ⅱ 型起即在抽水馬達之出口處及養液灌入栽培床時各設一個流量控制閥，使養液流量在蔬菜長至 4 葉齡前爲 3.0 公升／分，公尺，6 葉齡後調至 4.0 公升／分，公尺，而至 8 葉齡時即需增至 4.5 公升／分，公尺。又 DRF 型因加入養液迴流曝氣之裝置，使養液灌入栽培床時有部份養液馬上迴流回養液槽，而迴流量之多寡則另設流量閥控制之。因此，DRF 型養液之流量可先利用養液迴流曝氣之流量閥做爲粗調，而利用各栽培床之流量控制閥做爲細調。並且將馬達出口處之控制閥開至極限。如此，可使每一栽培床之流量均一。



圖六　流速與小白菜生育期對養液溶氧量之影響

Fig. 6. Effects of nutrient running speeds and Pai-Tsai growth stages on the variation of dissolved oxygen.

六、空氣混入器

空氣混入器之下方凸出處（如圖二）裏面裝有 2 組十字型重疊塑膠閥門，一旦養液流經此處時會產生 8 條水流而冲出，再者凸出處上方開有 2 個 0.1 mm 直徑之圓洞，在養液流經時可將外界空氣隨之吸入而混入養液中。由表八可知，由於 Ⅱ 型起均裝有空氣混入裝置，因之給液時 Ⅱ 型之養液溶氧量爲當時飽和溶氧量之 64.5 %，比 I 型之 34.1 % 多 30.1 %。若進一步比較給液前後溶氧量之差別可知，Ⅱ 型之給液前後溶氧量相差 34.0 %，而 I 型則僅相差 8.8 %，造成此 I、

Ⅱ型之差別之最大原因係Ⅰ型栽培床中之養液沒有循環，及Ⅱ型具有空氣混入器所致。Ⅱ型與Ⅲ型間給液前之溶氧量大略相同，但給液時則Ⅲ型之71.5％略優於Ⅱ型之64.5％。尤其是DRF型之給液前爲53.0％，給液後高達91.5％，顯然除了空氣混入器外，養液昇降排液器或排液處之閘門高低亦有其作用。日本協和式水氣耕系統，爲何較適合栽種果菜的原因，乃因給液前後給液處溶氧處從71.7％增至97.9％，而遠優於其他系統所致[3]。

表八　台中區農業改良場各型水耕系統溶氧量之變化

（飽和溶氧量當100之百分比）

Table 8. Variation of dissolved oxygen in different hyroponic systems of Taichung DAIS

水耕形式	測定時期／位置			
	給液前		給液時	
	栽培床中段	養液槽	栽培床中段	養液槽
Ⅰ	25.3[c]	35.7[c]	34.1[d]	35.6[d]
Ⅱ	30.5[b]	36.1[c]	64.5[c]	64.9[c]
Ⅲ	31.6[b]	40.2[b]	71.5[b]	70.4[b]
DRF	53.0[a]	63.7[a]	91.5[a]	95.4[a]

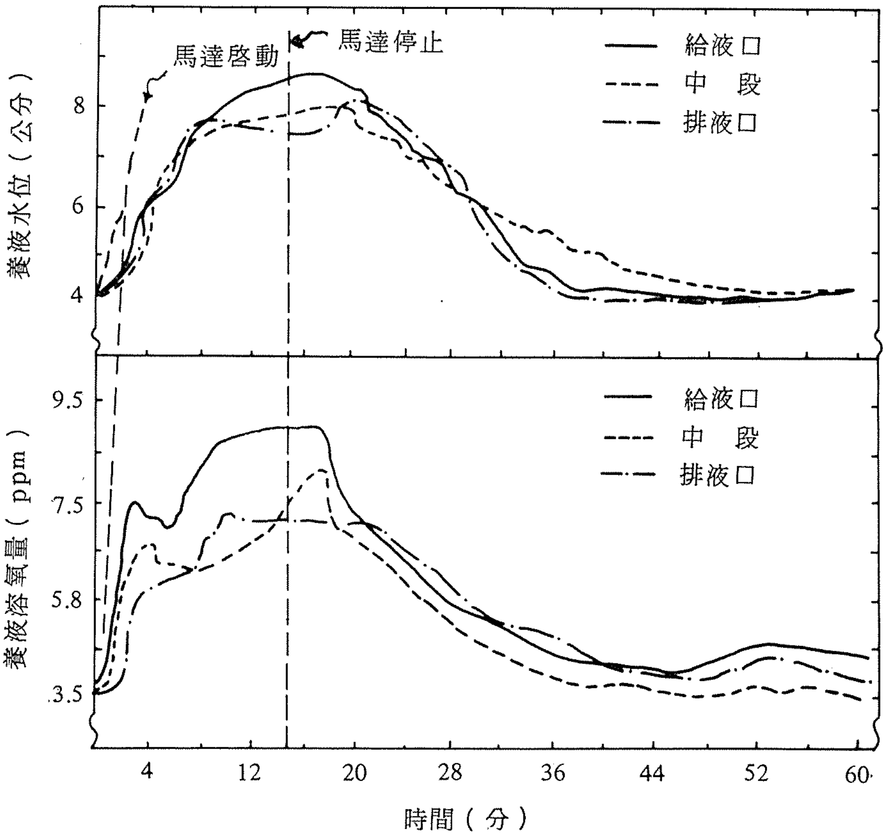
養液流速4.5公升／分，公尺，栽培床長14.4公尺，

液溫22.4～24.9℃，飽和溶氧量爲8.66～8.26 ppm。

七、養液昇降排液器

由表八中發現給液前栽培床中段溶氧量在Ⅱ型與Ⅲ型間差異不顯著，但養液槽內溶氧量Ⅱ型爲36.1％，Ⅲ型則爲40.2％。給液時Ⅱ型之栽培床中段的溶氧量爲64.5％，Ⅲ型爲71.5％。此時養液槽內溶氧量亦由Ⅱ型之64.9％增至70.4％，造成兩者間之差別係與排液口之閘門有關。Ⅱ型之閘門始終維持6公分，而Ⅲ型之閘門高度在測定時爲4公分。換言之，在測試時同樣以1 HP抽水馬達灌入15分鐘之養液，Ⅲ型將比Ⅱ型之置換較多栽培床上之養液流回養液槽，甚至在馬達停止時，Ⅲ型之養液迴流回養液槽時間亦比Ⅱ型長，此乃Ⅲ型養液槽內溶氧量較Ⅱ型高之原因。此增多趨勢可由DRF系統進一步證明之：由表八所示，DRF系統之不論給液前後其栽培床中段或養液槽內之溶氧量均高於其他系統，尤其與Ⅲ型間之差異，係DRF系統增加了養液昇降排液器。如圖三所示養液昇降排液器之主要結構係利用2組塑膠管，外圍高度8公分，其下方開3、4個等邊三角形洞。內緣塑膠管爲活動式，利用螺紋可將其從8公分降至0公分，而內外圍之間距爲2公分。操作時，栽培床內之養液係經由外圍之三角形洞，進入內緣塑膠管而流回養液槽。若栽培床內水位高於8公分時，養液會因淹過外圍塑膠管上方，直接進入內緣管而流回養液槽。因此裝置養液昇降排液器之優點爲每次灌液至下一次灌液時，栽培床內水位維持在8～4公分間。圖七爲DRF系統經60分鐘測試期間，水位及溶氧量之變化，測定條件爲灌液量每分鐘4.5公升／分，公尺，灌液期間15分鐘，栽培床長度14.4公尺，溶氧量測定位置

分別設在栽培床前段（給液口），中段及後段（排液口）。由於養液昇降排液器內綠塑膠管之高度為 4 公分，因此馬達啓動前栽培床水位為 4 公分，隨馬達之啓動後，水位隨之昇高，8 分鐘後各測定點之水位即昇高至 7 公分左右。至12分鐘時在給液口附近之水位已滿至 8 公分，但中段及排液口則從 8 分鐘後即維持在 7.0 ～ 7.5 公分間。此水位之狀況可維持13分鐘左右，換言之，在馬達停止後 6 分鐘，水位才開始緩慢下降；而至36 分鐘時，前段與後段之水位才降至 4 公分左右，但中段之水位至44 分鐘時，才降回 4 公分。圖七下方為溶氧量之變化曲線，其趨勢大致與圖上方栽培床內水位之變化相仿，兩者之相關性依前、中、後段之別。相關係數（r）分別為 0.9435**、0.9134**及 0.9648**，已達 1 %之顯著值。至於 DRF 系統養液槽內溶氧量較高之另一原因，乃係在一個60 分鐘週期之養液循環過程中，養液迴流回養液槽之時間，大約有44～46 分鐘，因此養液槽內之大部份時間呈動態曝氣所致。



圖七 DRF 系統養液水位與溶氧量週期性變化之關係

Fig. 7. The fluctuation of water level and dissolved oxygen concentration in DRF system.

八、空 氣 層

日本山崎氏 1979 年所開發之浮根式水耕系統[8]之優點，為上位根曝露於空氣中而增加根部活性。表九為各型水耕系統對小白菜根部生育之影響，Ⅰ、Ⅱ 型之差異不顯著，但在Ⅲ型及DRF

系統間則差別相當顯著，尤其在DRF系統之離水部份之根系比浸水部份較發達。由表十經測試全部根系及離水部分之根系之呼吸作用後，若以根部呼吸作用定義爲根部活性(14)，則造成DRF系統根發達之原因係離水部份之根系活性較高所致。換言之，上位根部離水位高低或空氣層多寡和上位根系之生長量有關，圖八爲DRF系統將上位根系離水位（空氣層）維持在0、1、3、5及7公分時小白菜全株之生育情形。其中以空氣層爲3公分之處理，其全株鮮重67.1公克最優，7公分空氣層之34.3公克殿後，其次爲無空氣層處理（對照）之45.3公克次之。根部之生育亦以空氣層爲3公分者之7.1公克最優。由圖九之上位根部具有雪白之根毛群可知，空氣層3公分之處理，由於可誘引上位根系發生較多之〃根毛群〃，而增加離水部分根系之根部活性。由位田(10)及山崎氏(8)之試驗結果，發現此根毛群比浸水部分之根部的氧氣吸收量增加3—4倍，此一結果相同於表十DRF型的離水部分之上位根系呼吸速率分別爲Ⅲ、Ⅱ及Ⅰ型之1.5、2.2及2.9倍。根據上述結果，在實際操作DRF水耕系統時，養液昇降排液器之水位，將之調整爲8～4公分之變動水位，以利於根系之發育。

表九　各型水耕系統對小白菜根部生育之影響

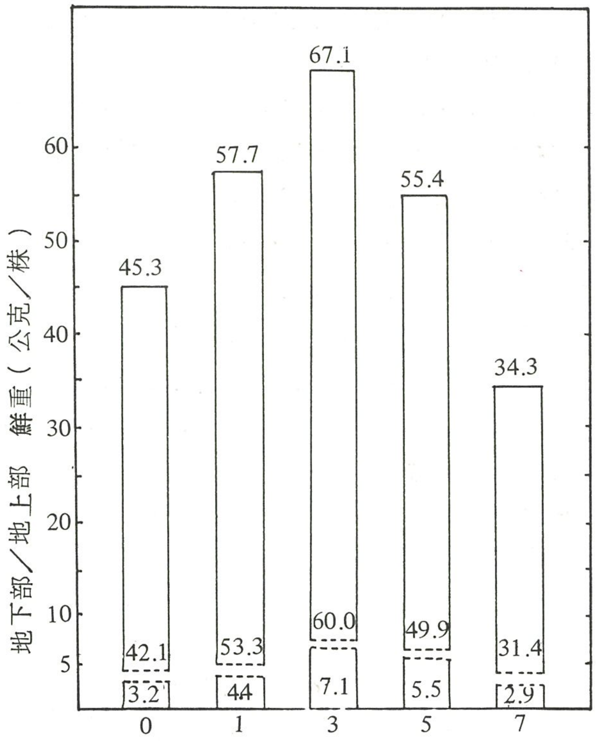
Table 9. Responses of root growth of Pai-tsai in different hydroponic system of Taichung DAIS

水耕型式	根部鮮重（公克／株）		
	離水部份	浸水部份	全根系
Ⅰ	1.5c	1.7b	3.2c
Ⅱ	1.9c	1.9b	3.8c
Ⅲ	2.4b	2.4ab	4.8b
DRF型	2.9a	2.7a	5.6a

表十　各型水耕系統對小白菜根部活性之影響

Table 10. Responses of root activity of Pai-tsai in different hydroponic system of Taichung DAIS

水耕型式	根部活性		
	離水部分	浸水部分	全根系
I	20.2d	14.0c	34.2d
II	25.9c	20.6b	56.5c
Ⅲ	37.8b	24.3ab	62.1b
DRF型	57.9a	26.5a	84.4a



圖八　上位根系離水位對小白菜生育之影響

Fig. 8. Effects of air space on the growth of Pai-tsai

圖九　白菜上位根部根毛群之發育

Fig. 9. Appearance of root hair growth in upper root system of Pai-tsai

九、水耕蔬菜之營養

水耕蔬菜與一般土耕者品質之差異是消費者心中之疑惑，也是國內試驗場所專家們所關心之問題。由於水耕營養液係由一般無機化學物質（如表十一）所組成，植物可能因吸收養液中之NO_3—N、NO_2—N、Mn、Fe等物質使該物質因累積而殘留於植物體(7)(20)，一旦人類食用後而有不良之影響。

表十一　台中區農業改良場蔬菜1號配方
Table 11. Vegetable nutrient formula No. 1 of Taichung DAIS

元　素　別	成　　分
巨量元素（me／l）	
NO_3—N	12.0
NH_4—N	1.0
Ca	4.0
K	8.0
P	4.0
Mg	2
S	2
微量元素（ppm）	
Fe—EDTA	2.5
B	0.2
Mn	0.2
Zn	0.02
Cu	0.01
Mo	0.005

EC = 2.0 mmho
pH = 6.0 ± 0.5

表十二之結果，是以小白菜爲植物材料，栽種方式分別爲土耕及水耕，水耕所用之方式爲DRF型，土耕則以相同之栽培床內裝塡砂質土壤，而每天定時由表土灑入水耕養液，使土壤水份保持田間容水量，另外逢機由菜市場抽樣買回小白菜爲對照，用來比較三者間化學成分之差異。測定結果發現蛋白質及脂肪成分方面三者差異不顯著。蛋白質含量大致在1.36～1.42％，而脂肪則在0.16～0.19％間。澱粉方面以水耕者之9.41％最高，其次爲土耕及市場取樣者之7.80％及6.47％。纖維含量則相反，以市場取樣者之0.59％最高，其次爲土耕的0.49％及水耕之0.24％。至於葉綠素含量則參試之土耕者及水耕者大略相似爲0.43～0.44％，而市場取樣者較高爲0.65％。在維生素方面小白菜含有豐富之維生素A及C(5)，但測試結果三處理間差異不顯著。

表十二　栽培方式別對小白菜營養成分之影響

Table 12. Influences of cultivation methods in the chemical components of Pai-tsai

化學組成	土耕	水耕	市場取樣（對照）
蛋白質（％）	1.36[a]	1.42[a]	1.39[a]
脂肪（％）	0.16[a]	0.19[a]	0.17[a]
澱粉（％）	7.80[bc]	9.41[a]	6.47[c]
纖維（％）	0.49[b]	0.24[a]	0.59[b]
葉綠素（％）	0.44[b]	0.43[b]	0.65[a]
維生素 A（％）	0.29[a]	0.31[a]	0.34[a]
維生素 C（％）	0.041[a]	0.039[a]	0.046[a]
NO_3—N（ppm）	425.3[b]	136.4[c]	1832.9[a]
NO_2—N（ppm）	0.84[b]	0.24[c]	1.57[a]

近年來食品蔬菜及飲水中硝酸鹽及亞硝酸鹽含量之問題逐漸被重視，主要是蔬菜或飲水中之硝酸鹽可因唾液中或其他微生物之硝酸還原酵素將之還原為亞硝酸鹽，而亞硝酸在酸性下易與一些二及三級胺（secondary and teritary amines and amides）反應而形成亞硝酸胺[17][20]，而此物質可能為致癌物質（carcinogen）或致生腫瘤（tumor）[18]，再者，近年來亦發現蔬菜或飲水中之亞硝酸鹽含量與人類之變性白色蛋白血症（methaemoglobinaemia）有關[20]。換言之，人體血液含過多之亞硝酸鹽時會阻礙血紅素之携氧作用，而導致病人發生缺氧病徵。就蔬菜而言，葉片之硝酸鹽含量與施肥量，栽種季節及收穫後儲藏方式有關[20]。就表十二之結果亦得知，由相同之肥料配方所生產之小白菜，以水耕者之含 NO_3 –N最低，僅136.4ppm，其次為土耕 425.3 ppm，含量最高者為取樣自市場者之對照1832.9 ppm。而諸處理中 NO_2 –N之含量均低，大致在 2.0 ppm以下，其中亦以水耕者之 0.24 ppm最低，其次為土耕之 0.84 ppm及對照之 1.57 ppm。據此可知，就一般化學成分而言，水耕栽培之蔬菜應無異於慣行之土耕蔬菜。但因水耕栽培時養液中各成分均維持一定濃度，使小白菜之逐日吸收量較均衡，因之其 NO_3 －N及 NO_2 －N之含量最低。

參考文獻

1. 山崎肯哉　1986　水耕栽培の魅力とリスワ　農業富民別册 pp40～46　富民協會／每日新聞社。
2. 內海修一　1984　世界の施設園藝　誠文堂新光社發行。
3. 板木利隆、佐佐木晧二、宇田川雄二　1984　養液栽培の實際　社團法人農業電化協會。
4. 野澤重雄　1985　トマトの巨木ぼ何を語りたいカ　協和株式會社發行。
5. 台灣產常用食品之營養成分　1980　婦幼衛生叢書(六)　台灣省婦幼衛生研究所印。
6. 小倉祐幸　1986　NFT　ロッワウール栽培の特性比較 農業および園藝 61:1413-1420。
7. 大沢孝也、池田英男　1980　そ菜の重金屬過剩障害に關する研究園學雜 49(2)：197–202。
8. 山崎肯哉　1986　養液栽培技術の發展經過と今後の方向　農業および園藝 61:107–114。
9. 西貞夫　1986　施設園藝おける養液栽培の位置　農業および園藝 61:81–93。

10.位田藤久太郎　1953　蔬菜の根の生理に關する研究（第1報）蔬菜の根の酸素要求量　園學雜　21(4):202−208。

11.高橋和彥　1986　養液栽培の現狀と今後の展望肥料　季刊 61:22−30。

12.高橋和彥　1987　養液栽培の最近の動キ　農業および園藝 61:81−85。

13.荒木浩一　1986　ロッワウーIV栽培の基礎と實際　農業および園藝 61:1093−1097。

14.林安秋、高德錚、洪阿田　1984　大豆品種根部活力與光合成效對產量之影響　雜糧作物試驗研究簡報 25:144−146。

15.高德錚　1986　設施園藝栽培技術之研究　造園季刊 1(4):37−53。

16. Graves, chris. J. 1983. The Nutrient Film Technique. Horticulture Reviews 5: 1−44.

17. Kawamura, T., K. Sakai, and F. Myazawa. 1971. Studies on nitrosamines in foods. Journal of the food and Hygiene Society of Japan 12: 192−197.

18. Magee, P.N. and J.M. Barnes. 1956. The production of malignant primary hepatic tumors in rat by feeding dimethyl nitrosamine. British Journal of Caner 10: 114−122.

19. Resh, Howard M. 1985. Hydroponic Food Production. pp. 21−29. Woodbridge Press Publishing Company Santa Barbara, California.

20. Vogtmann, H., A.T. Temperli, U. Kunsch, M. Eichenberger and P. Ott. 1984. Accumulation of nitrate in leafy vegetables grown under constrasting agricultural systems. Biological Agriculture and Horticulture 2: 51−68.

SUMMARY

In order to stabilize the vegetable productivity in summer season, series hydroponic systems were estabilished in last two years by Taichung District Agricultural Improvement Station. In December of 1986, a fourth generation of hydroponic system in this station namely, dynamic root floating system (DRF system) was set up and identified to be superior to other three ones. Results were summarized in following:

1. DRF system is constructed by styrofoam-made culture bed to maintain the constant nutrient temperature. Especially, when air temperature in pipe house in around 27.1°C–35.2°C, it still keeps low nutrient temperature with 21.2°C–27.2°C.
2. Covering with black PE film on the nutrient bed gets better efforts than others to avoid the algae infection.
3. As compared to other systems, more than 41.8%–13.9% of dissolved oxygen is detected in DRF system which is owing to the unique function of aspirator, automatic water level adjuster and nutrient recycling exposurer in this system. Besides, according to the vegetable growth stage, nutrient running speed in this system can be adjusted to 3.0–4.5 l/min,m by setting up some volves in nutrient pumping in/out route.
4. DRF system can induce more root hair in upper root system due to its special function of 4 cm depth of dynamic air space preformed during nutrient pumping in/out process. Therefore, root activity in DRF system is 2.47–1.36 times better than other ones.
5. The annual yield potential of Pai-tsai (*Brassica pekinensis* Rupr) in DRF system is 3.20–3.80 ton/crop, 1000m^2 and growth period from transplanting to harvest is 12.0 to 18.5 days. This indicates that Pai-tsai in DRF system is less interferred by seasonal climatic factors.
6. Chemical components of protein, fat, chlorophyll, vitamin A and C found in DRF cultured Pai-tsai are similar to soil culture ones. However, as compared to 7.80% of starch and 0.49% of fiber in soil culture Pai-tsai, DRF Pai-tsai obtains 1.20 times of higher starch and 48.9% of lower fiber. Moreover, NO_3-N and NO_2-N found in DRF Pai-tsai are respectively 32.1% and 28.6% lower than soil culture one in which 136.4 ppm of NO_3-N and 0.24 ppm of NO_2-N are measured.

討　論

賴森雄（亞洲蔬菜研究發展中心）問：

1.蔬菜單價何以那樣高？ 2.單位生產成本？

高德錚答：

1.關於這個問題，剛剛我們舉的例子是以台糖目前的售價為準，至於為何這麼高價，若賴先生你看目前清潔（精緻）蔬菜的農友之產地交割價格大概就是這個價值。

2.水耕蔬菜的價值，以多少方能維護成本？剛剛我們有一個圖表列出年淨收益33％，而每 $1000m^2$ 之投資成本新台幣114萬元左右。水耕最主要的優點是年耕作次數增加，以小白菜來說，一年可種16～18次，因此我們是以量取勝而不是以價錢取勝。

鄭正勇（台灣大學）問：

目前清潔蔬菜之所以售價高而尚有人要，最主要是因為消費者都認為無農藥，但事實上是值得懷疑？

高德錚答：

根據目前調查，水耕蔬菜是不需噴農藥，但市售土耕之精緻（清潔）蔬菜有沒有用農藥，則是另一個問題。水耕栽培使用農藥，並非直接噴至作物上，而是用農藥在作物收穫後溫室的消毒上。

陳　中（國立台灣大學園藝系）問：

在水耕栽培過程中，養液是否有遭污染的情形？應如何防止？

高德錚答：

1.根據本場之經驗，若水耕養液槽及栽培床均密閉時，則不會有污染情形，若露空則易感染藻類。

2.一般常懷疑若養液中有病菌時，會全區均受害，但事實上並尚未發現此現象。唯，一旦發現有病株時，應立即拔除。

3.若發現藻類污染時，則只要將栽培床或養液槽之露空處補滿即可。

4.若天雨，使栽培床積水或養液槽進水時，則營養液需更新。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分析）問：

NH_4^+ 的高濃度通常對於其他陽離子吸收有拮抗作用，尤其是Ca之吸收的抑制更嚴重，而在高溫下根之Ca吸收力降低。因此所採用之配方 NH_4^+ 4me／ℓ 高濃度（全N之¼），而Ca降為 4 me／ℓ 對所栽培之菜類，有無缺鈣現象產生？

高德錚答：

本場開發之水耕蔬菜肥料1號配方中，NH_4－N僅1me／ℓ，而且在進行一般葉菜類栽培時並未有缺鈣現象，但在果菜類尤其是番茄，在生育後期或夏季高溫時，確有缺鈣之現象，唯若養液採自動調節後（本場已另開發有養液自動調節裝置），此缺鈣現象可消失。